



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών

Ενότητα 9: Στρώμα δικτύου

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών  
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

**Συνιστώμενο Βιβλίο:**

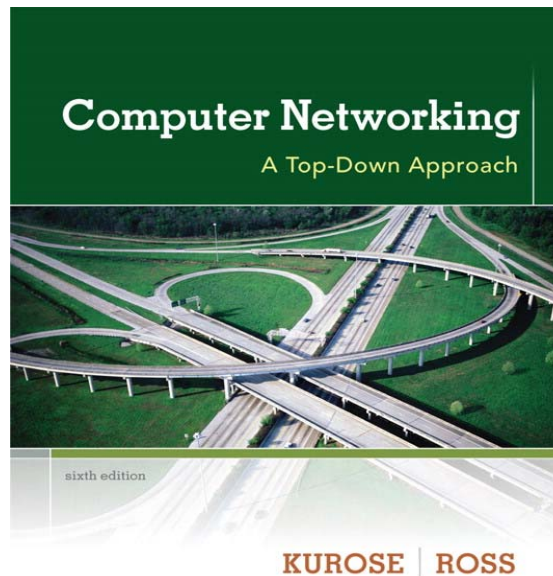
*Δικτύωση Υπολογιστών*  
*Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω*  
**KUROSE | ROSS**

**Τίτλος στην Αγγλική:** Computer Networking: A Top-Down Approach

**Επιμέλεια Ελληνικής Μετάφρασης:** Μαυρίδης Ιωάννης - Φουληράς Παναγιώτης

**Εκδόσεις :** Μ. Γκιούρδας

**Έκτη Έκδοση**



Η πλειονότητα των διαφανειών της 9<sup>ης</sup> ενότητας αποτελούν προσαρμογή και απόδοση στα ελληνικά των διαφανειών του 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου που συνοδεύουν το βιβλίο «Computer Networking: A Top-Down Approach» J.F Kurose and K.W. Ross, 6/E, Addison-Wesley (**Copyright © Pearson Education Inc**).

Η παρούσα προσαρμογή βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε απόδοση των διαφανειών αυτών στα ελληνικά, την επιμέλεια της οποίας είχε ο καθηγητής του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Λάζαρος Μεράκος.



# Σκοποί ενότητας

- Κατανόηση των βασικών διαφορών μεταξύ των αλγορίθμων κατάστασης ζεύξης και των αλγορίθμων διανύσματος απόστασης
- Κατανόηση του αλγορίθμου Dijkstra
- Κατανόηση του αλγορίθμου Bellman-Ford
- Κατανόηση της Ιεραρχικής Δρομολόγησης



# Περιεχόμενα ενότητας

- Αλληλεπίδραση μεταξύ δρομολόγησης και προώθησης
- Αφηρημένο μοντέλο γράφων
- Κατάταξη αλγορίθμων δρομολόγησης
- Ο αλγόριθμος του Dijkstra
- Ο αλγόριθμος των Bellman-Ford
- Ιεραρχική Δρομολόγηση



# Κεφάλαιο 4: Στρώμα Δικτύου

## 4.1 Εισαγωγή

## 4.2 Δίκτυα εικονικού κυκλώματος και δεδομενογράμματος

## 4.3 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

## 4.4 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράμματος
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- ICMP
- IPv6

## 4.5 Αλγόριθμοι δρομολόγησης

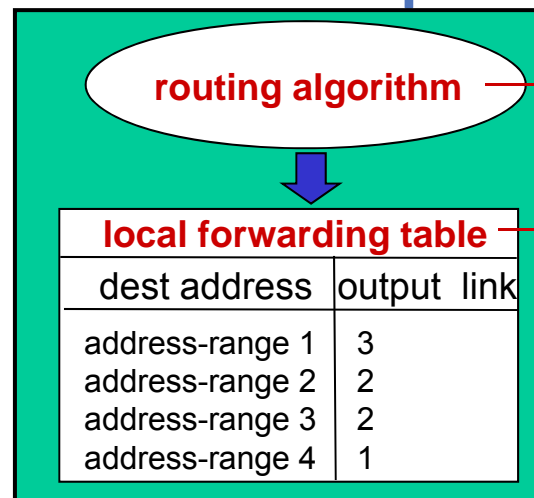
- Κατάστασης ζεύξης (link state)
- Διανύσματος απόστασης (distance vector)
- Ιεραρχική δρομολόγηση (hierarchical routing)

## 4.6 Δρομολόγηση στο Διαδίκτυο

- RIP
- OSPF
- BGP



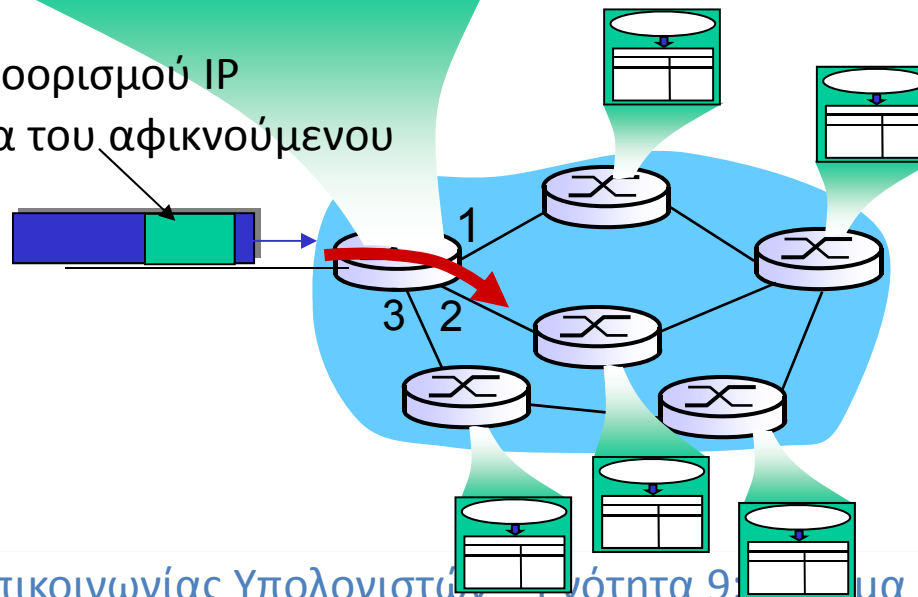
# Αλληλεπίδραση μεταξύ δρομολόγησης και προώθησης



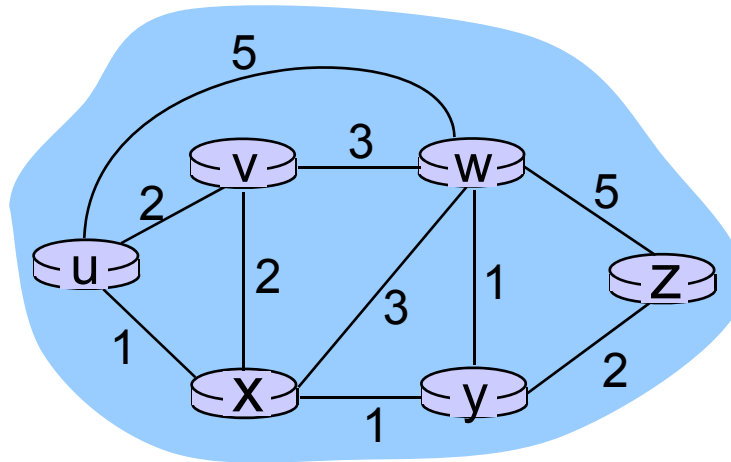
ο αλγόριθμος δρομολόγησης καθορίζει τη διαδρομή από άκρο σε άκρο μέσω του δικτύου

ο πίνακας προώθησης καθορίζει την προώθηση τοπικά στον δρομολογητή

Διεύθυνση προορισμού IP στην κεφαλίδα του αφικνούμενου πακέτου



# Αφηρημένο μοντέλο γράφων



Γράφος:  $G = (N,E)$

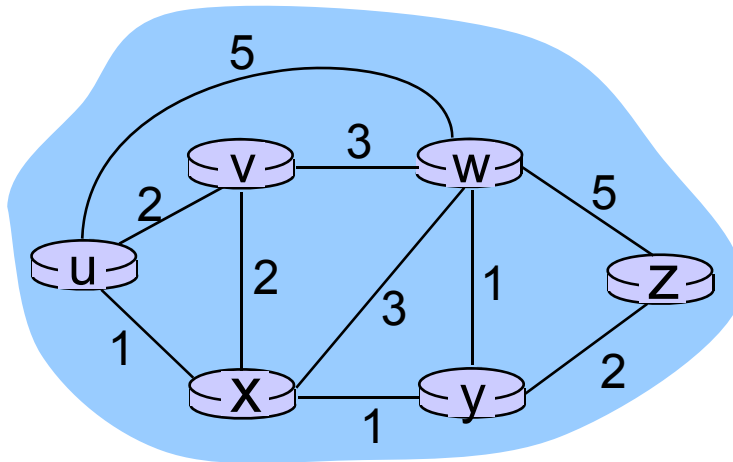
$N =$  σύνολο δρομολογητών =  $\{ u, v, w, x, y, z \}$

$E =$  σύνολο ζεύξεων =  $\{ (u,v), (u,x), (v,x), (v,w), (x,w), (x,y), (w,y), (w,z), (y,z) \}$

**Παρατήρηση:** Το αφηρημένο μοντέλο γράφων είναι χρήσιμο και σε άλλα δικτυακά περιβάλλοντα, πχ στο P2P, όπου  $N$  είναι το σύνολο των ομότιμων και  $E$  είναι το σύνολο των συνδέσεων TCP



# Αφηρημένο μοντέλο γράφων: κόστη



$c(x,x')$  = κόστος της ζεύξης  $(x,x')$   
π.χ.,  $c(w,z) = 5$

το κόστος θα μπορούσε να είναι πάντα 1, ή να σχετίζεται με το εύρος ζώνης, ή με τη συμφόρηση

Κόστος της διαδρομής  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p) = c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_{p-1}, x_p)$

**Ερώτηση:** Ποια είναι η ελαχίστου κόστους διαδρομή μεταξύ των  $u$  και  $z$ ;

**Αλγόριθμος δρομολόγησης:** αλγόριθμος που βρίσκει την ελαχίστου κόστους διαδρομή





# Κατάταξη αλγορίθμων δρομολόγησης

**Ε: Καθολική ή αποκεντρωμένη πληροφορία;**

**Καθολική:**

- ❖ όλοι οι δρομολογητές έχουν τη συνολική τοπολογία και πληρο-φορίες για το κόστος των ζεύξεων
- ❖ **αλγόριθμοι κατάστασης ζεύξης (“link state”)**

**Αποκεντρωμένη:**

- ❖ ο δρομολογητής γνωρίζει τους φυσικά συνδεδεμένους γείτονες, κόστη ζεύξεως προς γείτονες.
- ❖ επαναληπτική διαδικασία υπολογισμού, ανταλλαγής πληροφορίας με τους γείτονες
- ❖ **αλγόριθμοι διανύσματος απόστασης (“distance vector”)**

**Στατικός ή δυναμικός;**

**Στατικός:**

- ❖ οι διαδρομές αλλάζουν αργά με το χρόνο

**Δυναμικός:**

- ❖ οι διαδρομές αλλάζουν πιο γρήγορα
  - περιοδική ενημέρωση
  - ως απόκριση σε αλλαγές του κόστους των ζεύξεων



# Κεφάλαιο 4: Στρώμα Δικτύου

## 4.1 Εισαγωγή

## 4.2 Δίκτυα εικονικού κυκλώματος και δεδομενογράμματος

## 4.3 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

## 4.4 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράμματος
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- ICMP
- IPv6

## 4.5 Αλγόριθμοι δρομολόγησης

- Κατάστασης ζεύξης (link state)
- Διανύσματος απόστασης (distance vector)
- Ιεραρχική δρομολόγηση (hierarchical routing)

## 4.6 Δρομολόγηση στο Διαδίκτυο

- RIP
- OSPF
- BGP



# Ένας αλγόριθμος κατάστασης ζεύξης

## Αλγόριθμος του Dijkstra

- ❖ τοπολογία του δικτύου, κόστη ζεύξεων γνωστά σε όλους τους κόμβους
  - επιτυγχάνεται μέσω (ευρυ)εκπομπής (broadcast) κατάστασης ζεύξης
  - όλοι οι κόμβοι έχουν την ίδια πληροφορία
- ❖ υπολογίζει τις διαδρομές ελάχιστου κόστους από έναν κόμβο (προέλευση) προς όλους τους άλλους κόμβους
  - δίνει τον **πίνακα δρομολόγησης** γι' αυτόν τον κόμβο
- ❖ επαναληπτικός: μετά από  $k$  επαναλήψεις, είναι γνωστές οι ελάχιστου κόστους διαδρομές προς  $k$  προορισμούς

## Συμβολισμοί:

$c(i,j)$ : κόστος ζεύξης από τον κόμβο  $i$  στον κόμβο  $j = \infty$  αν δεν είναι άμεσοι γείτονες

$D(v)$ : τρέχουσα τιμή του κόστους της διαδρομής από την προέλευση στον προορισμό  $v$

$p(v)$ : προηγούμενος από τον  $v$  κόμβος κατά μήκος της διαδρομής από την προέλευση στον  $v$

$N'$ : σύνολο κόμβων για τους οποίους η ελάχιστου κόστους διαδρομή έχει σαφώς καθοριστεί



# Αλγόριθμος του Dijkstra

1 **Initialization:**

2  $N' = \{u\}$

3 for all nodes  $v$

4 if  $v$  adjacent to  $u$

5 then  $D(v) = c(u,v)$

6 else  $D(v) = \infty$

7

8 **Loop**

9 find  $w$  not in  $N'$  such that  $D(w)$  is a minimum

10 add  $w$  to  $N'$

11 update  $D(v)$  for all  $v$  adjacent to  $w$  and not in  $N'$  :

12  **$D(v) = \min( D(v), D(w) + c(w,v) )$**

13 /\* new cost to  $v$  is either old cost to  $v$  or known

14 shortest path cost to  $w$  plus cost from  $w$  to  $v$  \*/

15 **until all nodes in  $N'$**

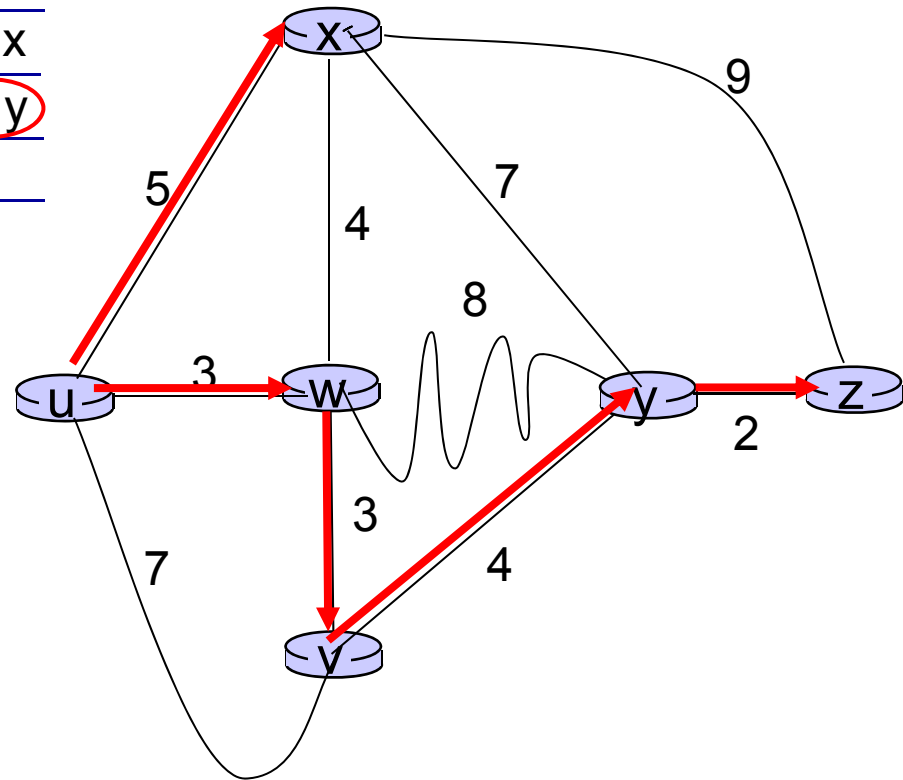


# Αλγόριθμος του Dijkstra: Παράδειγμα

Step	N'	D(v) p(v)	D(w) p(w)	D(x) p(x)	D(y) p(y)	D(z) p(z)
0	u	7,u	3,u	5,u	$\infty$	$\infty$
1	uw	6,w		5,u	11,w	$\infty$
2	uwx	6,w			11,w	14,x
3	uwxv				10,v	14,x
4	uwxvy					12,y
5	uwxvzy					

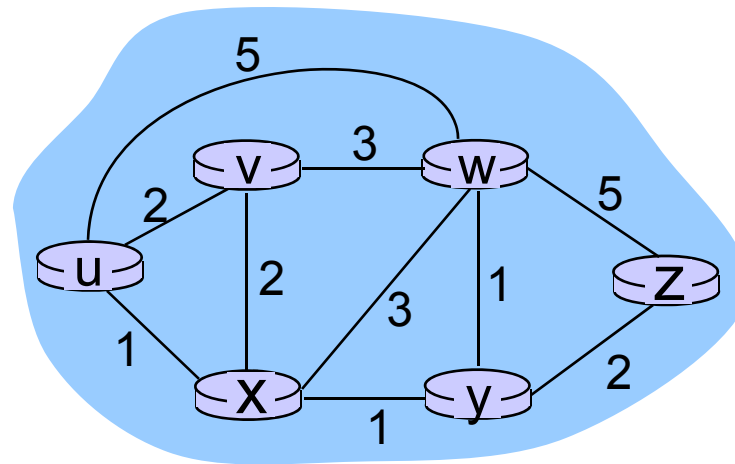
## Παρατηρήσεις:

- ❖ Κατασκευή δέντρου συντομότερης διαδρομής εντοπίζοντας τους προηγούμενους κόμβους
- ❖ Μπορεί να υπάρχουν “ισοπαλίες” (σπάνε αυθαίρετα)



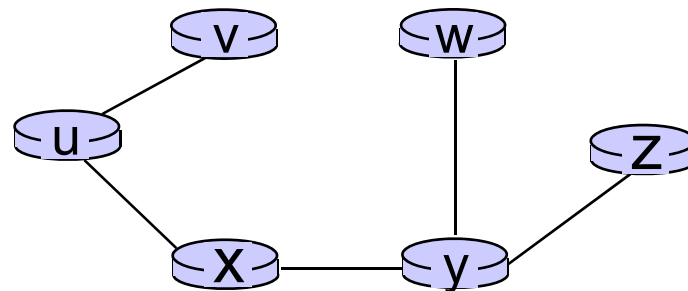
# Αλγόριθμος του Dijkstra: άλλο παράδειγμα

Step	N'	D(v),p(v)	D(w),p(w)	D(x),p(x)	D(y),p(y)	D(z),p(z)
0	u	2,u	5,u	1,u	$\infty$	$\infty$
1	ux	2,u	4,x		2,x	$\infty$
2	uxy	2,u	3,y			4,y
3	uxyv		3,y			4,y
4	uxynw					4,y
5	uxynwz					



# Αλγόριθμος του Dijkstra: παράδειγμα (2)

Δέντρο ελάχιστων διαδρομών (shortest-path tree) από τον u:



Πίνακας δρομολόγησης στον u:

destination	link
v	(u,v)
x	(u,x)
y	(u,x)
w	(u,x)
z	(u,x)



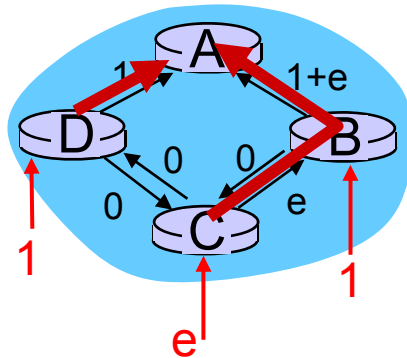
# Αλγόριθμος του Dijkstra: συζήτηση

## Πολυπλοκότητα του αλγορίθμου: $n$ κόμβοι

- ❖ κάθε επανάληψη: χρειάζεται να εξετάσει όλους τους κόμβους,  $w$ , που δεν ανήκουν στο  $N$
- ❖  $n(n+1)/2$  συγκρίσεις:  $O(n^2)$
- ❖ Είναι δυνατές πιο αποδοτικές υλοποιήσεις:  $O(n \log n)$

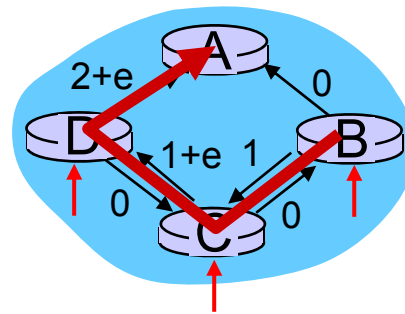
## Είναι δυνατόν να εμφανιστούν ταλαντώσεις: (κίνηση προς A)

- ❖ π.χ., κόστος ζεύξης = ποσότητα κίνησης που μεταφέρεται

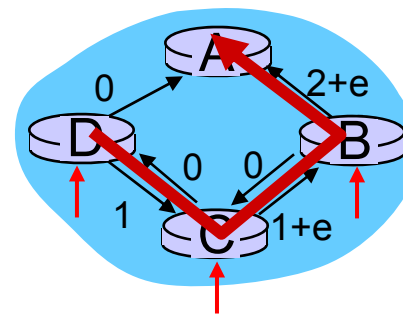


αρχικά

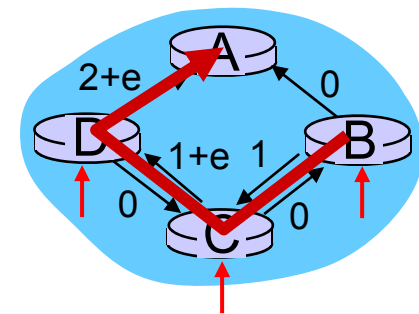
Με δεδομένα αυτά τα  
κόστη,  
Βρες νέα δρομολόγηση...  
προκύπτουν νέα κόστη



Με δεδομένα αυτά  
τα κόστη,  
Βρες νέα δρομολόγηση...  
προκύπτουν νέα κόστη



Με δεδομένα αυτά  
τα κόστη,  
Βρες νέα δρομολόγηση...  
προκύπτουν νέα κόστη





# Κεφάλαιο 4: Στρώμα Δικτύου

## 4.1 Εισαγωγή

## 4.2 Δίκτυα εικονικού κυκλώματος και δεδομενογράμματος

## 4.3 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

## 4.4 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράμματος
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- ICMP
- IPv6

## 4.5 Αλγόριθμοι δρομολόγησης

- Κατάστασης ζεύξης (link state)
- **Διανύσματος απόστασης (distance vector)**
- Ιεραρχική δρομολόγηση (hierarchical routing)

## 4.6 Δρομολόγηση στο Διαδίκτυο

- RIP
- OSPF
- BGP



# Αλγόριθμος Διανύσματος Απόστασης (Distance Vector)

## Εξίσωση Bellman-Ford (δυναμικός προγραμματισμός)

Ορίζουμε

$d_x(y) :=$  κόστος της ελαχίστου κόστους διαδρομής από τον  $x$  στον  $y$

Τότε

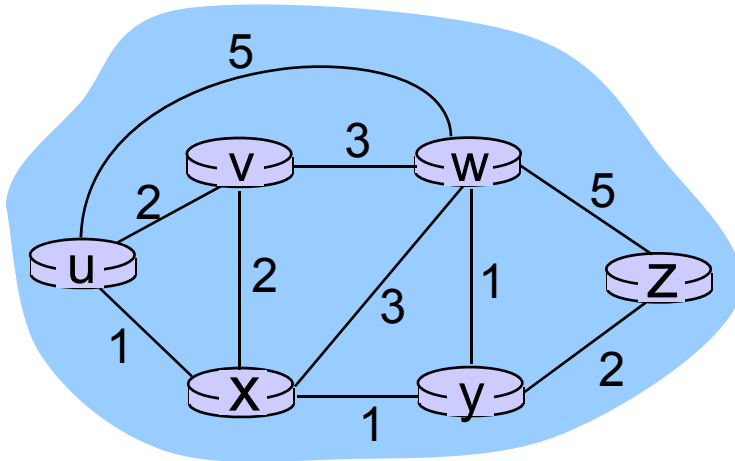
$$d_x(y) = \min \{ c(x,v) + d_v(y) \}$$

Κόστος από γείτονα  $v$  στον προορισμό  $y$   
Κόστος για τον γείτονα  $v$

Το  $\min$  λαμβάνεται πάνω σε όλους τους γείτονες  $v$  του  $x$



# Παράδειγμα Bellman-Ford



Σαφώς,  $d_v(z) = 5$ ,  $d_x(z) = 3$ ,  $d_w(z) = 3$

Η εξίσωση B-F λέει:

$$\begin{aligned} d_u(z) &= \min \{ c(u,v) + d_v(z), \\ &\quad c(u,x) + d_x(z), \\ &\quad c(u,w) + d_w(z) \} \\ &= \min \{ 2 + 5, \\ &\quad 1 + 3, \\ &\quad 5 + 3 \} = 4 \end{aligned}$$

Ο κόμβος που επιτυγχάνει το ελάχιστο είναι το επόμενο άλμα (hop) στη βραχύτερη διαδρομή, χρησιμοποιείται στον πίνακα προώθησης



# Αλγόριθμος Διανύσματος Απόστασης

- $D_x(y)$  = εκτίμηση του ελάχιστου κόστους από τον  $x$  στον  $y$ 
  - Ο κόμβος  $x$  διατηρεί το διάνυσμα απόστασης  $D_x = [D_x(y): y \in N]$
- Ο κόμβος  $x$ :
  - Γνωρίζει το κόστος προς κάθε γείτονα  $v$ :  $c(x,v)$
  - Διατηρεί το διάνυσμα απόστασης των γειτόνων του. Για κάθε γείτονα  $v$ , ο κόμβος  $x$  διατηρεί  $D_v = [D_v(y): y \in N]$



# Αλγόριθμος Διανύσματος Απόστασης

## Βασική ιδέα:

- ❖ Τακτικά, κάθε κόμβος στέλνει το δικό του διάνυσμα απόστασης στους γείτονές του
- ❖ Όταν ο κόμβος  $x$  λαμβάνει νέα εκτίμηση  $DV$  από γείτονα, ενημερώνει το δικό του  $DV$  με χρήση της B-F εξίσωσης:

$$D_x(y) \leftarrow \min_v \{c(x,v) + D_v(y)\} \text{ για κάθε κόμβο } y \in N$$

- ❖ Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η εκτίμηση  $D_x(y)$  συγκλίνει στο πραγματικό ελάχιστο κόστος  $d_x(y)$



# Αλγόριθμος Διανύσματος Απόστασης

## Επαναληπτικός, ασύγχρονος:

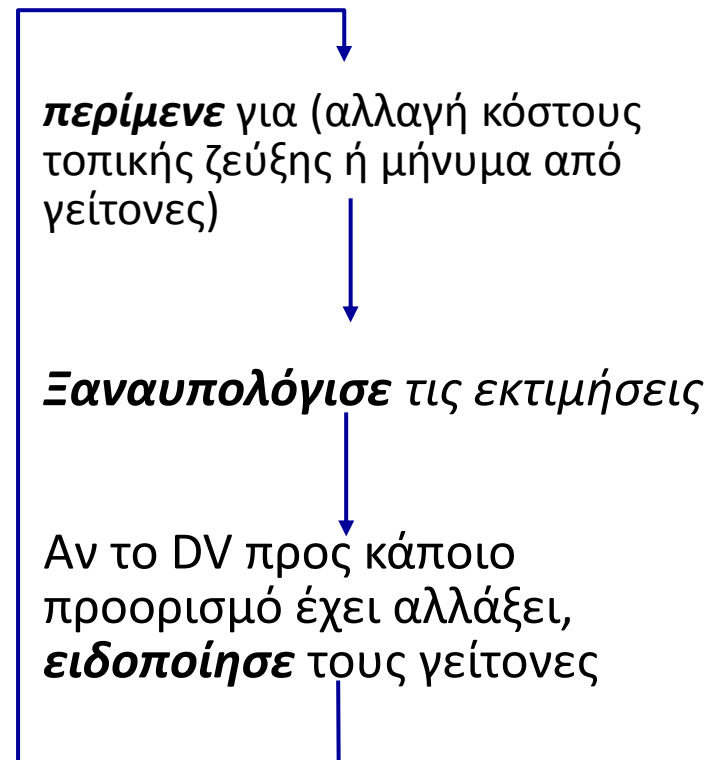
κάθε τοπική επανάληψη προκαλείται από

- ❖ αλλαγή κόστους τοπικής ζεύξης
- ❖ μήνυμα ενημέρωσης DV από γείτονα

## Κατανεμημένος:

- ❖ Κάθε κόμβος ειδοποιεί τους γείτονες μόνο όταν το DV του αλλάζει
  - Οι γείτονες τότε ειδοποιούν τους γείτονές τους αν χρειάζεται

Κάθε κόμβος:



$$D_x(y) = \min\{c(x,y) + D_y(y), c(x,z) + D_z(y)\}$$

$$= \min\{2+0, 7+1\} = 2$$

$$D_x(z) = \min\{c(x,y) + D_y(z), c(x,z) + D_z(z)\}$$

$$= \min\{2+1, 7+0\} = 3$$

**node x table**

		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	7
	y	∞	∞	∞
	z	∞	∞	∞

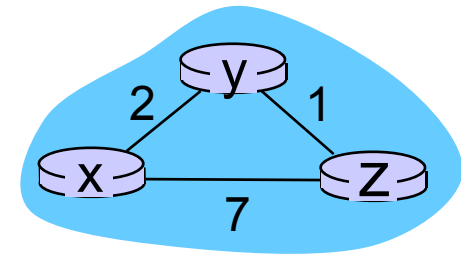
		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	7	1	0

**node y table**

		cost to		
		x	y	z
from	x	∞	∞	∞
	y	2	0	1
	z	∞	∞	∞

**node z table**

		cost to		
		x	y	z
from	x	∞	∞	∞
	y	∞	∞	∞
	z	7	1	0



time

$$D_x(y) = \min\{c(x,y) + D_y(y), c(x,z) + D_z(y)\}$$

$$= \min\{2+0, 7+1\} = 2$$

$$D_x(z) = \min\{c(x,y) + D_y(z), c(x,z) + D_z(z)\}$$

$$= \min\{2+1, 7+0\} = 3$$

**node x table**

		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	7
	y	∞	∞	∞
	z	∞	∞	∞

**node y table**

		cost to		
		x	y	z
from	x	∞	∞	∞
	y	2	0	1
	z	∞	∞	∞

**node z table**

		cost to		
		x	y	z
from	x	∞	∞	∞
	y	∞	∞	∞
	z	7	1	0

		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	7	1	0

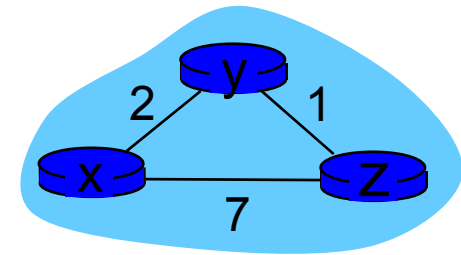
		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	7
	y	2	0	1
	z	7	1	0

		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	7
	y	2	0	1
	z	3	1	0

		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	3	1	0

		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	3	1	0

		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	3	1	0

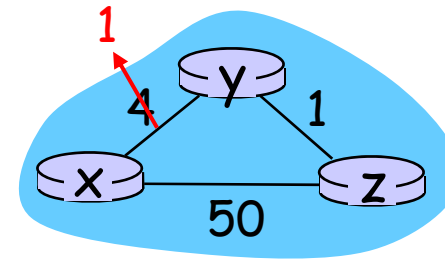




# Διάνυσμα απόστασης: αλλαγές κόστους ζεύξης

## Αλλαγές κόστους ζεύξης:

- ❖ Ο κόμβος ανιχνεύει αλλαγή κόστους τοπικής ζεύξης
- ❖ Ενημερώνει την πληροφορία δρομολόγησης, ξανα-υπολογίζει το διάνυσμα απόστασης
- ❖ Αν το DV αλλάζει, ειδοποιεί τους γείτονες



**Για δρομολόγηση προς τον x (αφορά τους κόμβους y και z) :**

Σε χρόνο  $t_0$ , ο y ανιχνεύει την αλλαγή στο κόστος της ζεύξης, ενημερώνει το DV του, και ενημερώνει τους γείτονές του

**«τα καλά  
νέα  
ταξιδεύουν  
γρήγορα»**

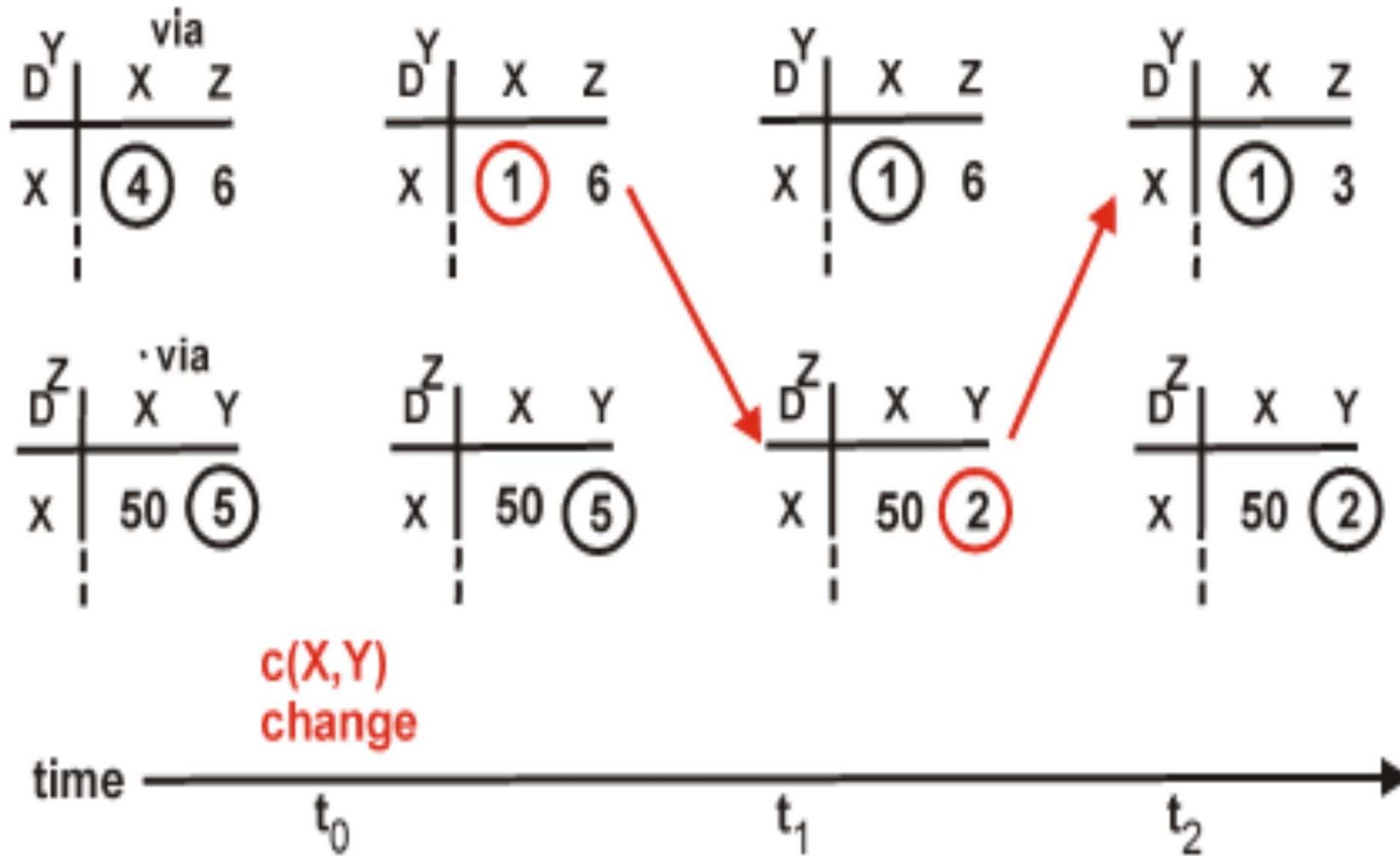
Σε χρόνο  $t_1$ , ο z δέχεται την ενημέρωση από τον y και ενημερώνει τον πίνακά του Υπολογίζει ένα νέο ελάχιστο κόστος προς τον x και στέλνει στους γείτονές του το DV του

Σε χρόνο  $t_2$ , ο y δέχεται την ενημέρωση του z και ενημερώνει τον πίνακα απόστασης Τα ελάχιστα κόστη του y δεν αλλάζουν και έτσι ο y δεν στέλνει κανένα μήνυμα στον z



Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών – Ενότητα 9: Στρώμα δικτύου

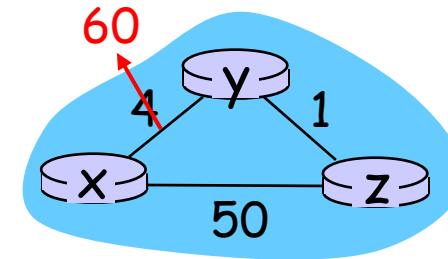
Για δρομολόγηση προς τον χ (γραμμή στον πίνακα) αφορά πίνακες των κόμβων y και z) :



# Διάνυσμα απόστασης: αλλαγές κόστους ζεύξης

## Αλλαγές κόστους ζεύξης:

- ❖ Ο κόμβος ανιχνεύει αλλαγή κόστους τοπικής ζεύξης
- ❖ Τα κακά νέα ταξιδεύουν αργά – πρόβλημα “μέτρησης μέχρι το άπειρο”!
- ❖ 44 επαναλήψεις πριν σταθεροποιηθεί ο αλγόριθμος

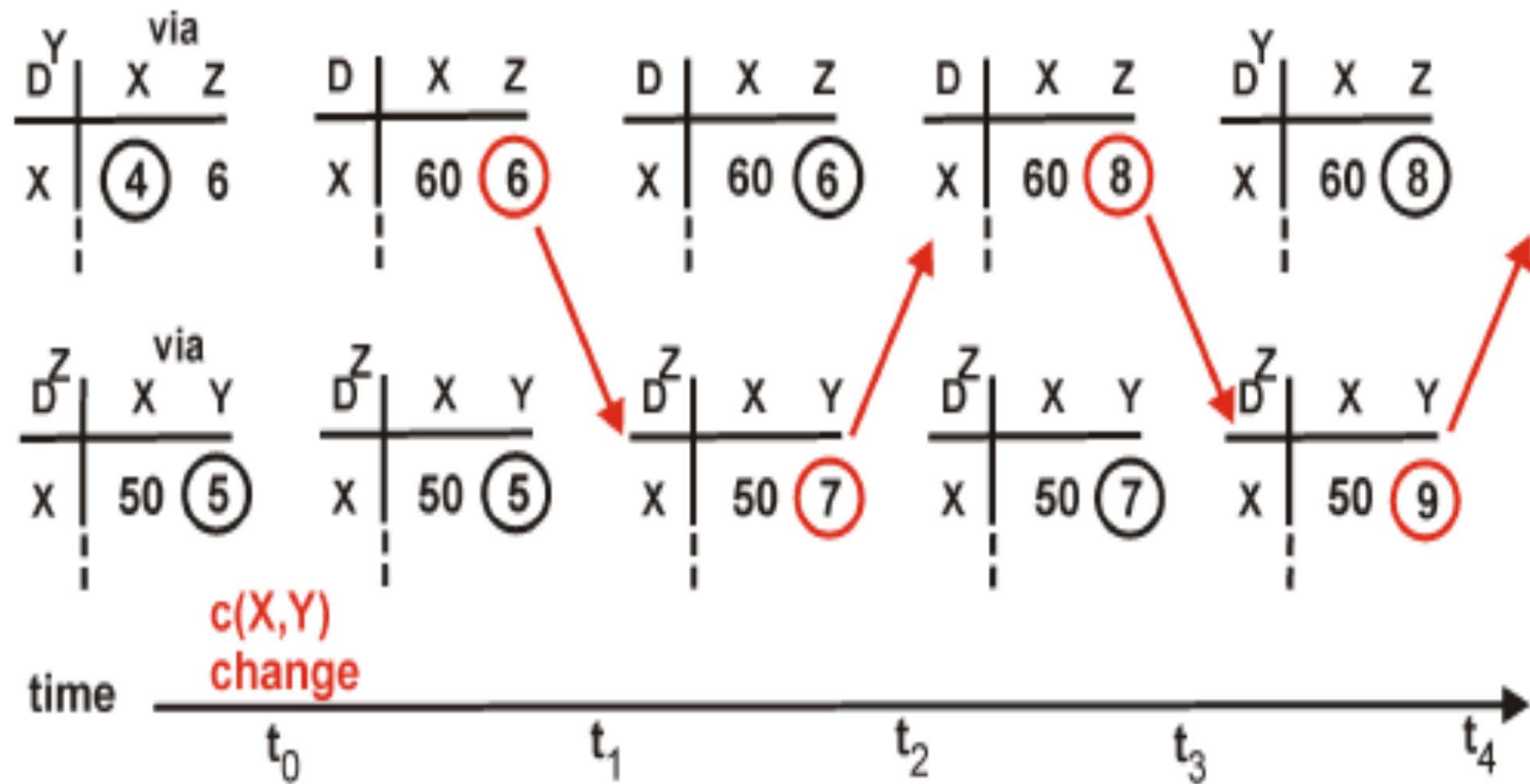


## *poisoned reverse:*

- ❖ Αν ο Z δρομολογεί μέσω του Y για να φτάσει στον X
  - Ο Z λέει στον Y ότι η απόστασή του από τον X είναι άπειρη (ώστε ο Y να μη δρομολογεί στον X μέσω του Z)



Για δρομολόγηση προς τον χ (γραμμή στον πίνακα) αφορά πίνακες των κόμβων γ και z) :



# Σύγκριση των LS και DV αλγόριθμων

## Πολυπλοκότητα μηνύματος

- ❖ **LS:** με  $n$  κόμβους,  $E$  ζεύξεις, στέλνονται  $O(nE)$  μηνύματα
- ❖ **DV:** ανταλλαγή μόνο μεταξύ γειτόνων
  - ο χρόνος σύγκλισης ποικίλει

## Ταχύτητα σύγκλισης

- ❖ **LS:**  $O(n^2)$  ο αλγόριθμος απαιτεί  $O(nE)$  μηνύματα
  - μπορεί να έχει ταλαντώσεις
- ❖ **DV:** ο χρόνος σύγκλισης ποικίλει
  - μπορεί να υπάρχουν βρόχοι δρομολόγησης
  - πρόβλημα μέτρησης μέχρι το άπειρο

**Ευρωστία:** τι συμβαίνει αν ένας δρομολογητής δυσλειτουργεί;

**LS:**

- ο κόμβος μπορεί να εκπέμψει λάθος κόστος **ζεύξης**
- κάθε κόμβος υπολογίζει μόνο το δικό του πίνακα

**DV:**

- ο DV κόμβος μπορεί να εκπέμψει εσφαλμένο κόστος διαδρομής
- ο πίνακας κάθε κόμβου χρησιμοποιείται από άλλους
- τα λάθη διαδίδονται μέσω του δικτύου



# Κεφάλαιο 4: Στρώμα Δικτύου

## 4.1 Εισαγωγή

## 4.2 Δίκτυα εικονικού κυκλώματος και δεδομενογράμματος

## 4.3 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

## 4.4 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράμματος
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- ICMP
- IPv6

## 4.5 Αλγόριθμοι δρομολόγησης

- Κατάστασης ζεύξης (link state)
- Διανύσματος απόστασης (distance vector)
- **Ιεραρχική δρομολόγηση (hierarchical routing)**

## 4.6 Δρομολόγηση στο Διαδίκτυο

- RIP
- OSPF
- BGP



# Ιεραρχική Δρομολόγηση

Η μελέτη της δρομολόγησης ως τώρα εξιδανικευμένη:

- ❖ όλοι οι δρομολογητές πανομοιότυποι
- ❖ «επίπεδο» (flat) δίκτυο
- ... δεν ισχύει στην πράξη

**Κλίμακα:** με 600

εκατομμύρια προορισμούς

- ❖ δεν μπορεί να αποθηκευτούν όλοι οι προορισμοί στους πίνακες δρομολόγησης!
- ❖ η ανταλλαγή των πινάκων δρομολόγησης θα κατάκλυζε τις ζεύξεις

**Διαχειριστική αυτονομία**

- ❖ Διαδίκτυο = δίκτυο δικτύων
- ❖ κάθε διαχειριστής δικτύου ενδέχεται να θέλει να ελέγχει τη δρομολόγηση στο δικό του δίκτυο



# Ιεραρχική Δρομολόγηση

- ❖ ομαδοποίηση δρομολογητών σε περιοχές, «**αυτόνομα συστήματα**» (“**autonomous systems**” (AS))
- ❖ δρομολογητές του ίδιου AS τρέχουν το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης
  - πρωτόκολλο δρομολόγησης “intra-AS” [πρωτόκολλο δρομολόγησης ενδοαυτόνομου συστήματος]
  - δρομολογητές σε διαφορετικά AS μπορούν να τρέχουν διαφορετικά intra-AS πρωτόκολλα δρομολόγησης

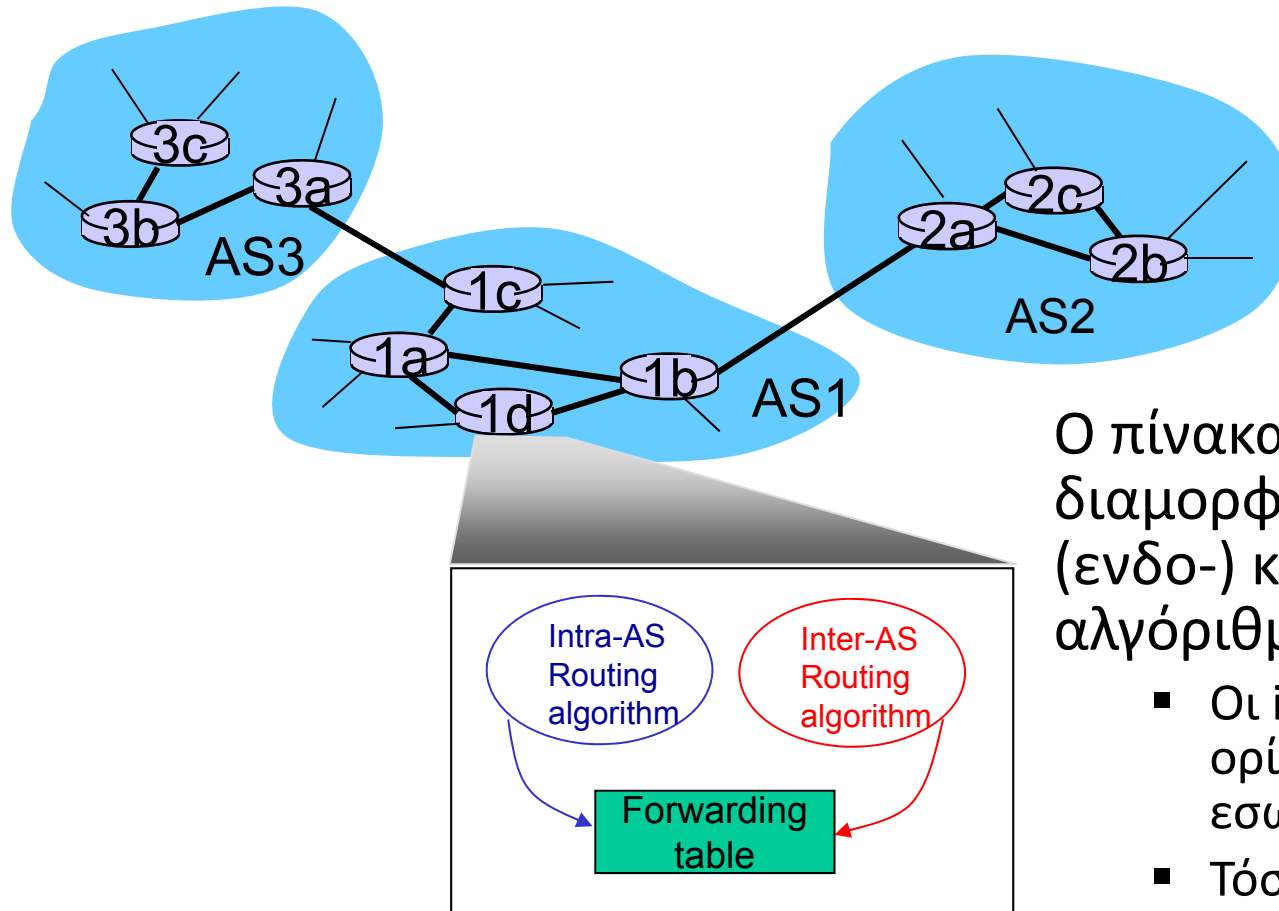
## Δρομολογητής πύλης (Gateway router)

- ❖ Στην “άκρη” του δικού του AS
- ❖ Έχει ζεύξη με δρομολογητή σε άλλο AS





# Διασυνδεδεμένα AS



Ο πίνακας προώθησης διαμορφώνεται από intra- (ενδο-) και inter- (δια-) AS αλγόριθμους δρομολόγησης

- Οι intra-AS αλγόριθμοι ορίζουν καταχωρίσεις για εσωτερικούς προορισμούς
- Τόσο οι inter-AS, όσο και οι intra-As αλγόριθμοι ορίζουν καταχωρίσεις για εξωτερικούς προορισμούς



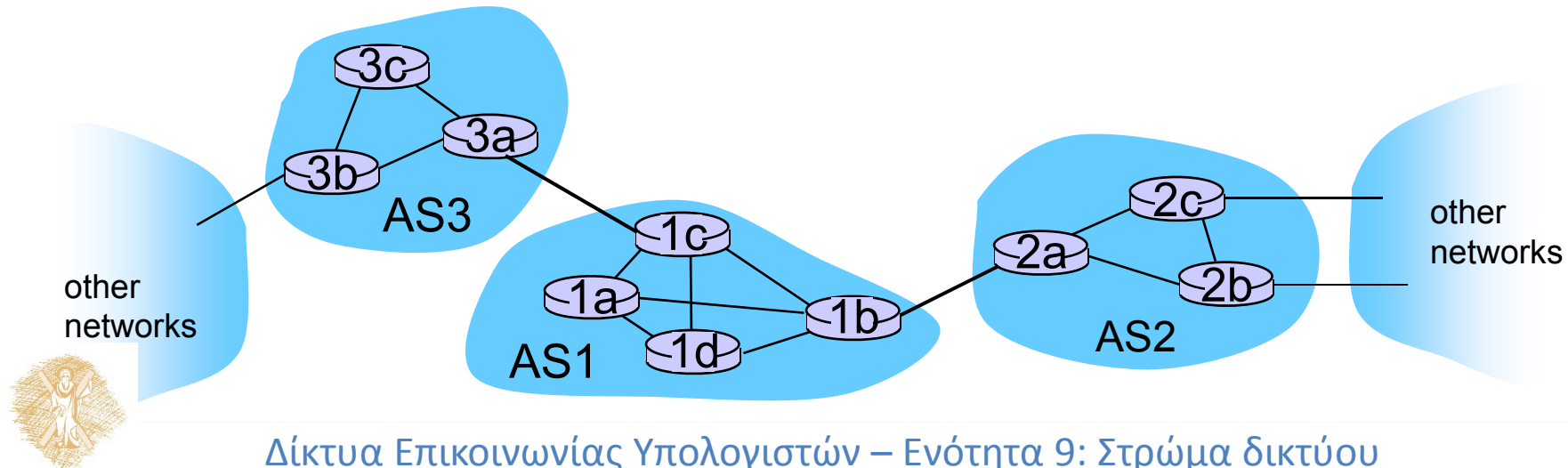
# Εργασίες Inter-AS

- ❖ Έστω ότι δρομολογητής στο AS1 λαμβάνει datagram με προορισμό εκτός του AS1:
  - Ο δρομολογητής θα έπρεπε να προωθήσει το πακέτο σε δρομολογητή πύλης (gateway router), αλλά σε ποιόν;

## Το AS1 πρέπει:

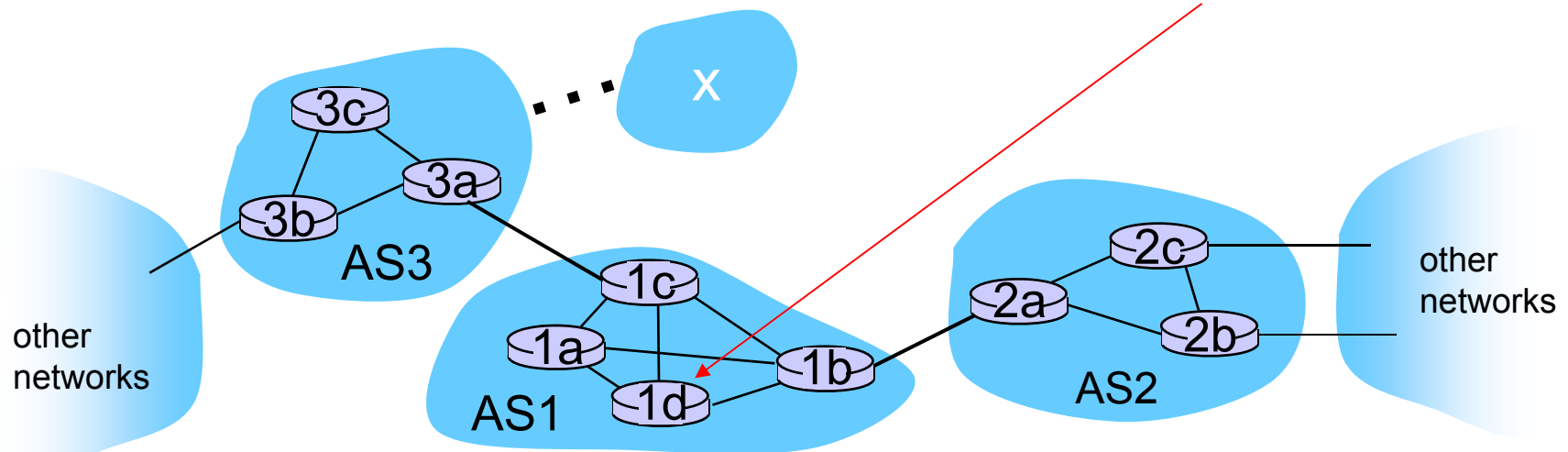
- ❖ 1. Να μάθει ποιό προορισμοί είναι προσεγγίσιμοι μέσω του AS2 και ποιό μέσω του AS3
- ❖ 2. Να διαδώσει την πληροφορία προσέγγισης σε όλους τους δρομολογητές στο AS1

## Δουλειά της inter-AS δρομολόγησης!



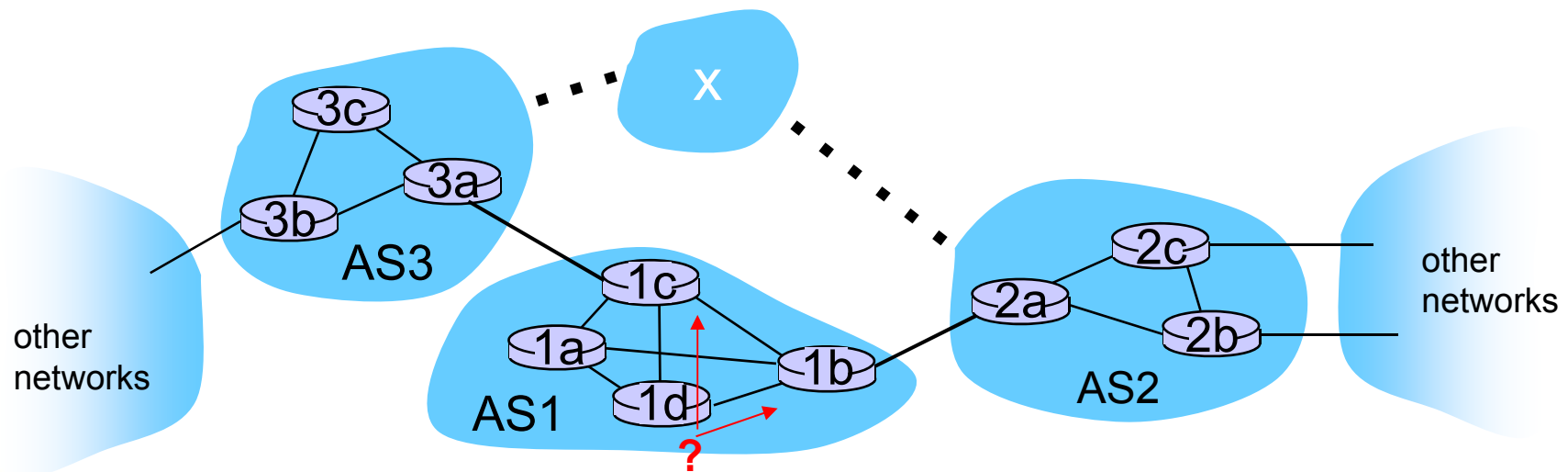
# Παράδειγμα: Καθορισμός του πίνακα προώθησης στο δρομολογητή 1d

- ❖ Έστω ότι το AS1 μαθαίνει (μέσω πρωτοκόλλου inter-AS) ότι το υποδίκτυο  $x$  είναι προσεγγίσιμο μέσω του AS3 (δρομολογητής πύλης 1c) αλλά όχι μέσω του AS2.
  - Το πρωτόκολλο inter-AS διαδίδει την πληροφορία προσέγγισης σε όλους τους εσωτερικούς δρομολογητές
- ❖ Ο δρομολογητής 1d καθορίζει μέσω της intra-AS πληροφορίας δρομολόγησης ότι η διεπαφή του  $l$  είναι στη διαδρομή ελάχιστου κόστους προς το 1c.
  - Εισάγει καταχώριση στον πίνακα προώθησης  $(x, l)$



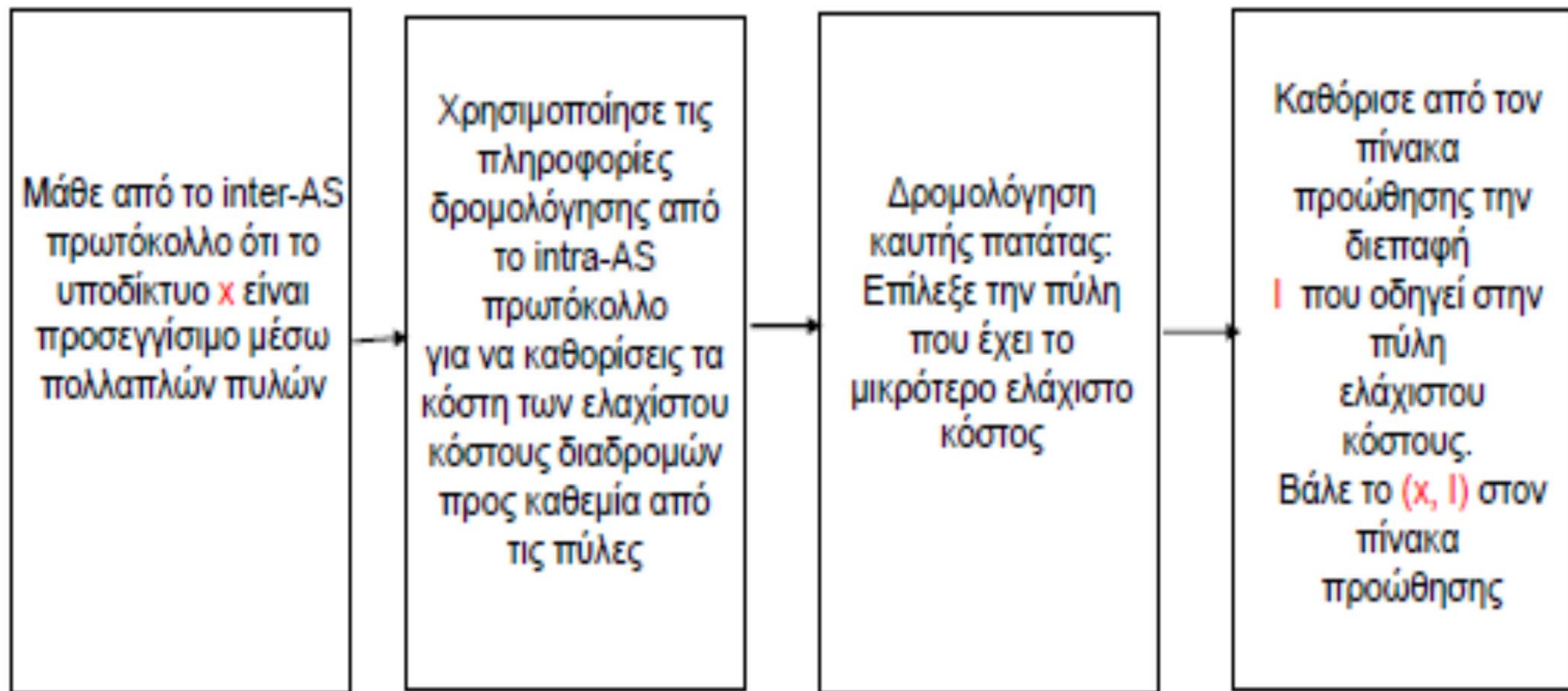
# Παράδειγμα: Διαλέγοντας μεταξύ πολλαπλών AS

- ❖ Έστω τώρα ότι το AS1 μαθαίνει από το inter-AS πρωτόκολλο ότι το υποδίκτυο  $x$  είναι προσεγγίσιμο από το AS3 και από το AS2
- ❖ Για τη διαμόρφωση του πίνακα προώθησης, ο δρομολογητής 1d πρέπει να καθορίσει προς ποιόν δρομολογητή πύλης θα πρέπει να προωθεί τα πακέτα για τον προορισμό  $x$ 
  - Αυτό είναι επίσης δουλειά του inter-AS πρωτοκόλλου δρομολόγησης!



# Παράδειγμα: Διαλέγοντας μεταξύ πολλαπλών AS

- ❖ **Δρομολόγηση καυτής πατάτας (hot potato routing):** στείλε το πακέτο στον πιο κοντινό από τους δύο δρομολογητές



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Σημειώματα





# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Μιχαήλ Λογοθέτης. «Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών. Στρώμα δικτύου». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE604/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση του ακόλουθου έργου:

**Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες/Πίνακες**

[1] J. Kurose and K. Ross, Δικτύωση Υπολογιστών – Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω, 6<sup>η</sup> έκδοση, Γκιούρδας, 2013

